第40卷 第7期
2023年7月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 7
Jul. 2023

不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的影响

李娟霞[1]，白小明[1]，张 翠[2]，冉 福[1]，李 萍[1]，闫玉邦[1]，张才忠[1]，朱雅楠[1]，陈 辉[1]

（1. 甘肃农业大学草业学院，草业生态系统教育部重点实验室，甘肃省草业工程实验室，中-美草地畜牧业可持续发展研究中心，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：采用培养皿法，研究不同盐分类型和盐浓度对一年生早熟禾种子萌发特性的影响，测定其相对萌发率、相对发芽势、相对萌发指数、相对活力指数、相对胚芽长、相对胚根长和相对盐害率等指标，分析一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长对不同盐分类型的响应。结果表明：(1) 永昌种源一年生早熟禾的种子萌发和幼苗生长特性均高于其他3个种源。(2) 在不同盐分类型、盐浓度及主要因素交互作用下一年生早熟禾的种子萌发和萌发期幼苗生长均受到显著抑制，碱性盐毒害强于中性盐，与萌发期幼苗的胚芽相比，胚根的响应更为敏感。(3) 不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性强弱依次为：Na_2CO_3 > $NaHCO_3$ > Na_2SO_4 > NaCl。研究结果可为种植一年生早熟禾生态修复不同类型盐碱地提供科学依据。

关键词：一年生早熟禾；盐分类型；萌发特性；幼苗生长；耐盐性

土壤盐碱化是人类面临的世界性问题之一，严重威胁生态环境和农业的可持续发展。我国是盐碱地大国，盐渍化土地面积约为3630.53×10⁴ hm²，主要分布在东北、华北以及西北内陆地区[1]。据预测，在未来几十年里有许多土地会因盐碱化而撂荒[2]，所以人们对盐碱化问题越来越重视。尤其是我国西北地区盐碱化面积已达2506.33×10⁴ hm²，几乎占全国盐碱化面积的69.03%[3]，已成为制约我国西北地区绿色产业发展和生态环境恢复的重要因素。土壤盐渍化也成为城市草坪建植和养护管理的难题之一，在盐分含量高的土壤上建植的草坪易出现秃斑，春季返青晚，秋季早衰，生长不良，甚至出现大面积死亡等现象，增加草坪管理难度，降低了草坪的坪用价值[4]。当前，如何合理开发和利用盐碱地已成为当今干旱区农牧业发展面临的重要问题之一。研究表明，草本植物对盐碱地生态修复有至关重要的作用[5]。因此，针对不同类型的盐碱地选择合适的草本植物进行生物改良显得尤为重要。

植物在不同生长阶段对盐碱环境的耐性程度不同，而种子萌发期是对盐碱胁迫最敏感的时期[6]，是决定植物种子能否在盐碱地土壤上成功种植的关键期。土壤盐碱化往往协同发生，我国西北内陆盐渍土壤盐分组成以中性盐（NaCl和Na_2SO_4）和碱性盐（$NaHCO_3$和Na_2CO_3）为主[7]。不同盐分类型对植物种子萌发和幼苗生长的影响是不同的，而且同种植物在不同盐浓度下的应答响应也存在明显差异。殷丽丽等[8]对绿豆种子进行不同浓度的三种盐处理，发现三种盐胁迫均能抑制种子的萌发，且对Na_2CO_3胁迫最敏感。黄立华等[9]的研究表明，钠盐对羊草种子萌发和根芽生长的抑制作用明显大于钾盐，碱性盐大于中性盐，二价盐大于一价盐。雷春英等[10]研究了不同类型钠盐胁迫对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响，结果表明盐爪爪对4种钠盐的响应差异显著，且在同一盐浓度下幼苗根对盐

收稿日期：2022-12-09； **修订日期**：2023-02-09
基金项目：甘肃省教育厅优秀研究生“创新之星”项目（2023CXZX-626）；国家自然科学基金项目（31560667）；甘肃省林草局草原生态修复治理科技支撑项目（GSLC-2020-3）
作者简介：李娟霞（1993-），女，博士研究生，主要从事草坪草与环境胁迫研究. E-mail: 1135459701@qq.com
通讯作者：白小明. E-mail: baixm@gsau.edu.cn

的响应敏感于幼苗芽，碱性盐毒害强于中性盐。武路广等[11]研究了 NaCl 和 Na_2SO_4 两种单盐胁迫对白羊草种子萌发的影响，结果显示，NaCl 具有低盐促进高盐抑制的效应，Na_2SO_4 对种子萌发的抑制作用更加明显。

一年生早熟禾（*Poa annua* L.）为禾本科冷季型草坪草，具有生活史短暂、繁殖能力强、耐践踏、耐修剪、抗逆性强和易成坪等优良性状，常作为冬春季优良短期观赏草坪或暖季型草坪绿地的交播材料[12-13]，由于一年生早熟禾具有完善的生存策略，对盐碱地生态系统的生产力、物种多样性和生态功能发挥着重要的作用[14]。因此，在盐碱地开展一年生早熟禾草坪建植，一方面使盐碱地得到改良，另一方面可取得生态效益。目前，对草本植物响应盐胁迫的研究主要集中在中性盐方面[15-16]，而关于碱性盐对野生一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长影响的研究鲜有报道。鉴于此，本研究以 NaCl、Na_2SO_4、$NaHCO_3$ 和 Na_2CO_3 溶液模拟不同盐分和不同浓度的盐、碱环境，比较不同盐分类型和不同浓度钠盐对一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的影响，旨在探索不同类型盐胁迫对一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的影响，以期为西北地区不同类型盐碱地种植一年生早熟禾提供参考和指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的4个野生一年生早熟禾种子于2021年5—7月采自甘肃境内，均为乡土草种，其地理位置及气候条件见表1。

1.2 试验设计

取饱满、均匀的一年生早熟禾种子为试验材料，置于直径9 cm且铺有两层滤纸的培养皿中，每皿100粒种子，设置6个浓度水平，NaCl 和 $NaHCO_3$ 处理浓度分别为50 mmol·L^{-1}、100 mmol·L^{-1}、150 mmol·L^{-1}、200 mmol·L^{-1}、250 mmol·L^{-1}，Na_2SO_4 和 Na_2CO_3 处理浓度分别为25 mmol·L^{-1}、50 mmol·L^{-1}、75 mmol·L^{-1}、100 mmol·L^{-1}、125 mmol·L^{-1}，对照（CK）为蒸馏水，设置4次重复，每个培养皿中加入8 mL盐溶液，置于24 ℃、12 h光照/12 h黑暗的培养箱内培养。采用称重补水法每天定时补充蒸发的水分以维持盐浓度。

1.3 测定指标

萌发标准以胚根0.2 cm长为准，每天统计种子萌发数，第14 d时统计不同处理下的发芽势[16]，28 d计算最终萌发率，测量胚芽和胚根长。并计算萌发参数[16-17]：

萌发率（GR）=萌发结束时正常萌发种子数/供试种子数×100% （1）

发芽势（GP）=萌发14 d时正常萌发的种子数/供试种子数×100% （2）

萌发指数（GI）=Σ（每天正常萌发种子数/对应萌发天数） （3）

活力指数（VI）=胚芽长×萌发指数 （4）

盐害率（SDR）=（对照萌发率−盐胁迫处理下种子萌发率）/对照萌发率×100% （5）

相对萌发率（RGR）=盐胁迫下种子萌发率/对照萌发率×100% （6）

相对发芽势（RGP）=盐胁迫下种子发芽势/对照发芽势×100% （7）

相对萌发指数（RGI）=盐胁迫下种子萌发指数/对照萌发指数×100% （8）

相对活力指数（RVI）=盐胁迫下种子活力指数/对照活力指数×100% （9）

相对胚芽长（RBL）=盐胁迫处理下幼苗胚芽长/对照胚芽长×100% （10）

相对胚根长（RRL）=盐胁迫处理下幼苗胚根长/对照胚根长×100% （11）

相对盐害率（RSDR）=（对照萌发率−盐胁迫处理下种子萌发率）/对照萌发率×100% （12）

表1 供试的4个野生一年生早熟禾种子

Tab. 1 Four wild *Poa annua* seeds tested

编号	种源	经度	纬度	海拔/m	年均降水量/mm	年均温度/℃	生境
AN	甘肃兰州市安宁区	103°42′E	36°52′N	1543	325	10	绿化带
QZ	甘肃天水市秦州区	105°44′E	34°30′N	1350	536	10	房前屋后、路边
LZ	甘肃武威市凉州区	102°63′E	37°95′N	1523	144	9	房前屋后、绿化带
YC	甘肃金昌市永昌县	104°54′E	34°10′N	1965	185	6	绿化带

注：下文中出现的材料名称均以表中编号表示。

1.4　统计分析

使用SPSS 20.0统计分析软件进行单因素方差分析和差异显著性检验（α=0.05），采用Duncan法多重比较（$P<0.05$）及多因素方差分析因素间的交互效应，利用Origin 2021绘图。参照陈新等[18]的方法，按公式（13）、（14）、（15）和（16）分别计算各材料各综合指标的隶属函数值［$\mu(X_j)$］、权重系数W_j和D值，计算公式如下：

隶属函数值：

$$\mu\left(X_j\right)=\frac{\left(X_j-X_{min}\right)}{\left(X_{max}-X_{min}\right)} \quad (13)$$

$$\mu\left(X_j\right)=\frac{\left(X_{max}-X_j\right)}{\left(X_{max}-X_{min}\right)} \quad (14)$$

式中：X_j表示第j个指标的隶属值；X_{min}表示第j个指标的最小值；X_{max}表示第j个指标的最大值，指标与耐盐性成正相关用隶属函数公式（13）计算隶属函数值，指标与耐盐性成负相关用反隶属函数公式（14）计算隶属函数值。

权重：

$$W_j=\frac{V_j}{\sum_{j=1}^{m}V_j} \quad (15)$$

式中：W_j表示第j个指标的权重；V_j表示第j个综合指标的贡献率。

综合评价值：

$$D=\sum_{j=1}^{n}\left[\mu\left(x_j\right)\cdot W_j\right] \quad (16)$$

式中：D为综合评价值，D值越大，代表该材料耐盐性越强；D值越小，代表该材料耐盐性越弱。

2　结果与分析

2.1　一年生早熟禾种子萌发特性

2.1.1　盐胁迫对不同种源一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的影响　一年生早熟禾种子的RGR、RGP、RGI、GVI、RRL和RSDR均受到盐分类型、盐浓度及交互作用的极显著影响（$P<0.01$）（表2）。种源对一年生早熟禾种子的RGR、RGP、RGI、GVI、RRL和RSDR也呈极显著影响（$P<0.01$），对RBL不存在显著影响（$P>0.05$）。其他主要因素间无交互作用。

表2　种源、盐分类型、盐浓度及主要因素交互对一年生早熟禾种子萌发特性的方差分析

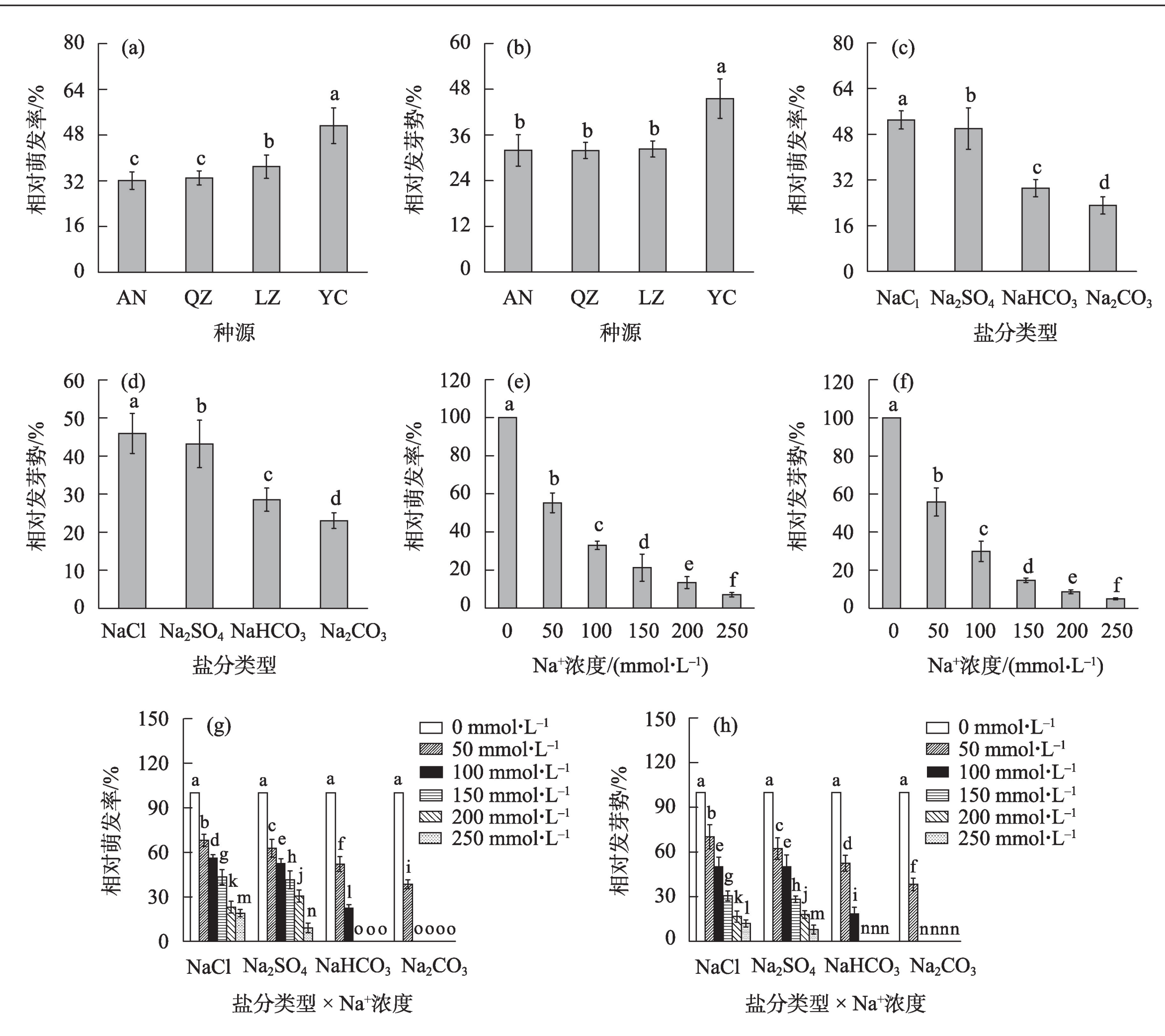
Tab. 2　Analysis of variance of provenances, salt types, concentrations and interaction of main factors on the germination characteristics of *Poa annua* seeds

参数	主要因素			交互
	种源	盐分类型	盐浓度	盐浓度×盐分类型
RGR	54571.69***	13944.72***	53382.64***	13110.44***
RGP	21494.68***	66544.02***	43835.64***	6915.20***
RGI	29617.86***	11030.02***	59975.03***	13845.19***
RVI	22692.97***	89932.26***	70741.07***	13961.24***
RBL	0.97ns	1.69*	1.48*	1.00*
RRL	3851.34**	32745.29**	68694.91***	49961.24***
RSDR	30285.96***	53185.71***	19677.20***	47331.05***

注：*表示$P<0.05$，**表示$P<0.01$，***表示$P<0.001$，ns表示不显著（$P>0.05$）。下同。

2.1.2　一年生早熟禾种子的相对萌发率和相对发芽势特性　永昌种子的RGR和RGP均极显著高于其他种子（$P<0.01$）（图1）。4种盐分均抑制了种子的RGR和RGP，其中，Na_2CO_3的抑制作用最显著（$P<0.05$）。不同Na^+浓度对种子的RGR和RGP均有一定的抑制作用。当Na^+浓度为50 mmol·L^{-1}时，种子的RGR和RGP与对照相比，分别显著减少了44.73%和44.23%（$P<0.05$）。盐分类型和浓度的交互作用显示，当Na^+浓度为50 mmol·L^{-1}时，一年生早熟禾种子的RGR和RGP均受到4种盐分的显著抑制（$P<0.05$）。当Na^+浓度为100 mmol·L^{-1}时，Na_2CO_3胁迫下种子的RGR和RGP均为0。当Na^+浓度为250 mmol·L^{-1}时，NaCl和Na_2SO_4胁迫下种子的RGR和RGP均显著降低（$P<0.05$），而$NaHCO_3$和Na_2CO_3胁迫下种子的RGR和RGP均为0。

2.1.3　一年生早熟禾种子的相对萌发指数和相对活力指数特性　永昌种子的RGI和RVI均显著高于其他种子（$P<0.05$）（图2）。NaCl和Na_2SO_4胁迫下种子的RGI和RVI显著高于$NaHCO_3$和Na_2CO_3胁迫（$P<0.05$）。不同Na^+浓度对种子的RGI和RVI均有一定的抑制作用。当Na^+浓度为250 mmol·L^{-1}时，种子的RGI和RVI与对照相比分别极显著减少了95.97%和98.79%（$P<0.01$）。盐分类型和浓度的交互作用显示，在Na^+浓度50 mmol·L^{-1}时，种子的RGI和RVI均受到4种盐分的显著抑制（$P<0.05$）。在Na^+浓度250 mmol·L^{-1}时，$NaHCO_3$和Na_2CO_3胁迫下种子的RGR和RGP均为0，而NaCl和Na_2SO_4胁迫下



注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。

图1 种源、盐分类型、盐浓度和盐分类型×盐浓度对一年生早熟禾种子相对萌发率和相对发芽势的影响

Fig. 1 Effects of provenance, salt type, concentration, and salt type × concentration on relative germination rate and relative germination potential of *Poa annua* seeds

种子的RGR和RGP分别为13.26%、2.86%和1.04%、3.81%。

2.2 一年生早熟禾萌发期幼苗特性

永昌种子的RRL与其他种子差异显著($P<0.05$)。不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期幼苗的影响差异显著(图3,图4)。NaCl胁迫下幼苗的RBL和RRL均显著大于其他盐分($P<0.05$)。随Na^+浓度的增加,幼苗的RBL和RRL均显著减小($P<0.05$)。当Na^+浓度为50 mmol·L^{-1}时,幼苗的RBL和RRL均与对照差异显著($P<0.05$),分别减少了25.27%和54.69%。当Na^+浓度为250 mmol·L^{-1}时,幼苗的RBL和RRL与对照相比分别极显著减少了83.58%和96.72%($P<0.01$)。盐分类型和浓度的交互作用显示,在Na^+浓度50 mmol·L^{-1}时,一年生早熟禾幼苗生长均受到4种盐分的显著抑制($P<0.05$)。在Na^+浓度100 mmol·L^{-1}时,NaCl胁迫下幼苗的RBL和RRL均显著大于其他盐分($P<0.05$),而Na_2CO_3胁迫下幼苗生长均被完全抑制。在Na^+浓度250 mmol·L^{-1}时,NaCl和Na_2SO_4胁迫下幼苗的RBL和RRL与对照相比均极显著减小($P<0.01$),而同浓度的$NaHCO_3$和Na_2CO_3胁迫下幼苗的生长均被完全抑制。

2.3 一年生早熟禾种子相对盐害率特性

永昌种子的RSDR显著小于其他种子($P<0.05$)(图5)。Na_2CO_3胁迫下种子的RSDR显著大于其他盐分($P<0.05$)。随Na^+浓度的增大种子的RSDR也增加,当Na^+浓度为50 mmol·L^{-1}时,种子的RSDR显著高于对照($P<0.01$),种子萌发被明显抑制。当Na^+浓度为250 mmol·L^{-1}时,种子的RSDR与对照相比增加了94.3%。盐分类型和浓度的交互作

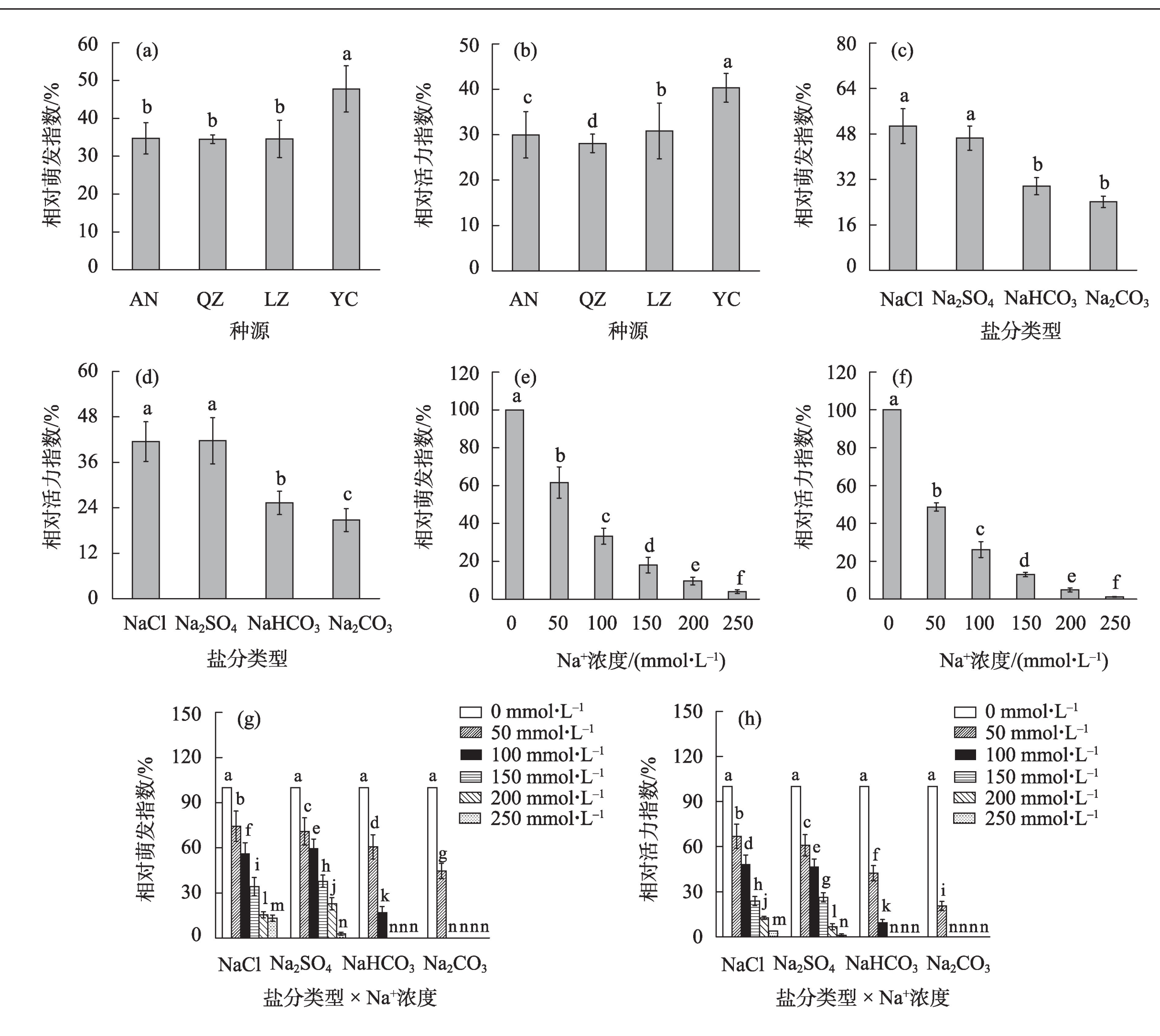


图2　种源、盐分类型、盐浓度和盐分类型×盐浓度对一年生早熟禾种子相对萌发指数和相对活力指数的影响

Fig. 2　Effects of provenance, salt type, concentration, and salt type × concentration on the relative germination index and relative vitality index of *Poa annua* seeds

用显示，在Na^+浓度50 mmol·L^{-1}时，一年生早熟禾种子萌发均受到4种盐分的抑制（$P<0.01$）。在Na^+浓度为100 mmol·L^{-1}时，Na_2CO_3胁迫下种子萌发被完全抑制。在Na^+浓度为250 mmol·L^{-1}时，$NaHCO_3$和Na_2CO_3胁迫下种子萌发均被完全抑制。

2.4　不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性评价

不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性强弱依次为：$Na_2CO_3>NaHCO_3>Na_2SO_4>NaCl$（表3）。

3　讨　论

种子萌发是植物生长过程中最重要的阶段，也是植物对逆境胁迫响应最敏感的时期，种子在盐碱胁迫下能正常萌发是植物完成自身生活史、建立种群的关键[6,19]。种子的萌发指标是检验种子品质不可缺少的重要指标[20]，对良种繁育、改进种子贮藏方法、种质资源的保护等有重要意义[21]。张莹莹[22]对青藏高原东缘89种禾本科植物种子萌发特性研究发现，种源对禾本科植物种子的萌发行为有极显著影响，种子萌发与生活型存在固有而紧密的联系。本研究结果表明，永昌种源一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长特性均明显高于其他3个种源，表明植物通过趋异适应产生不同的生活型来影响种子的产生，进而使萌发能力和幼苗生长出现差异。

氯化盐、硫酸盐和碳酸盐是盐渍土中主要的盐分，对种子萌发的抑制作用既有离子毒害又有渗透胁迫效应[23]。Pinheiro等[24]发现盐胁迫对种子萌发

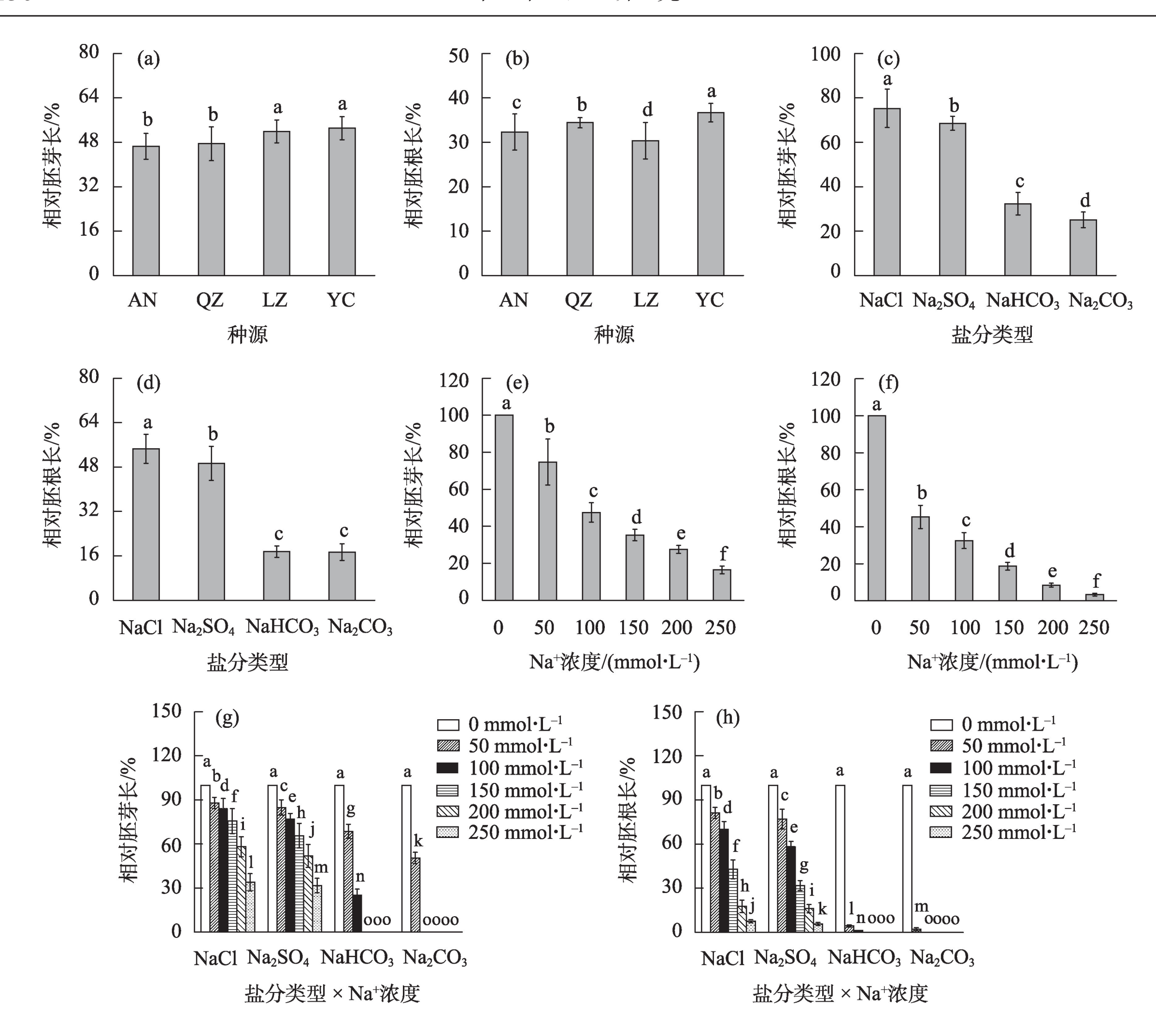


图3 种源、盐分类型、盐浓度和盐分类型×盐浓度对一年生早熟禾萌发期幼苗生长的影响

Fig. 3 Effects of provenance, salt type, concentration, and salt type × concentration on the growth of seedlings of *Poa annua* at the germination stage

特性有显著的抑制效应，也有研究发现低浓度促进种子萌发[25]。本研究通过测定中性盐和碱性盐对一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的影响，发现盐胁迫对一年生早熟禾种子的萌发和幼苗生长具有明显的抑制作用，主要表现为降低一年生早熟禾种子的相对萌发率，推迟种子的萌发时间，增加种子的相对盐害率，抑制幼苗胚芽和胚根的生长等，这与张秀玲等[26]和徐曼[27]的研究结果相似。一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长对不同盐分类型和不同盐浓度及交互作用的响应存在显著的差异，且碱性盐毒害强于中性盐。研究还发现，一年生早熟禾的相对萌发率均随着盐分浓度的增加而降低，且相同盐浓度下不同类型盐分对种子萌发的抑制程度依次为：$Na_2CO_3 > NaHCO_3 > Na_2SO_4 > NaCl$，表明对一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长的抑制不仅受到Na^+的毒害，也受到碱性盐高pH的抑制，与王伟华等[28]的研究结果一致。

植物不同组织和器官对盐碱胁迫的响应存在较大差异。Croser等[29]认为盐分对植物地上部的抑制作用较地下部明显，刘杰等[30]认为在根系相对幼嫩时地下部分对盐分更敏感。本研究结果表明，在不同盐分类型、盐浓度及交互作用下一年生早熟禾幼苗胚根长的降幅均显著高于胚芽长的降幅，本研究结果更符合根系在相对幼嫩时地下部分对盐分更敏感，这可能与胚根和盐溶液直接接触有关。因此，相对于种子萌发率和幼苗胚芽长，胚根长更能反应出一年生早熟禾种子萌发期的耐盐碱能力。

不同盐分类型对一年生早熟禾盐害性的大小是受多种因素影响的综合表现，单一指标并不能客观真实地反映植物的盐害性。因此，本研究采用模

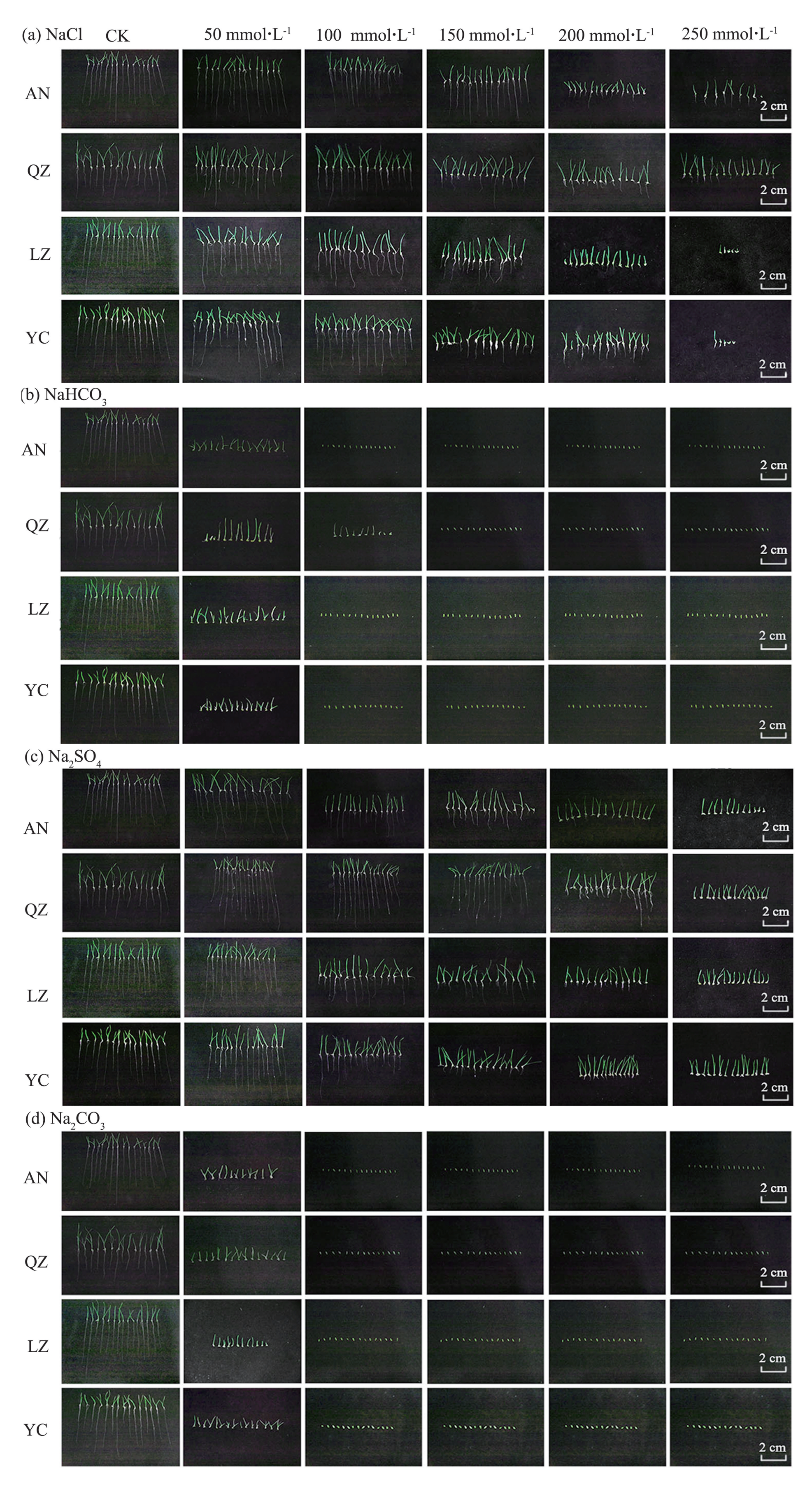


图4 一年生早熟禾萌发期幼苗在不同盐胁迫下的生长状况

Fig. 4 Growth of *Poa annua* seedlings at the germination stage under different salt stresses

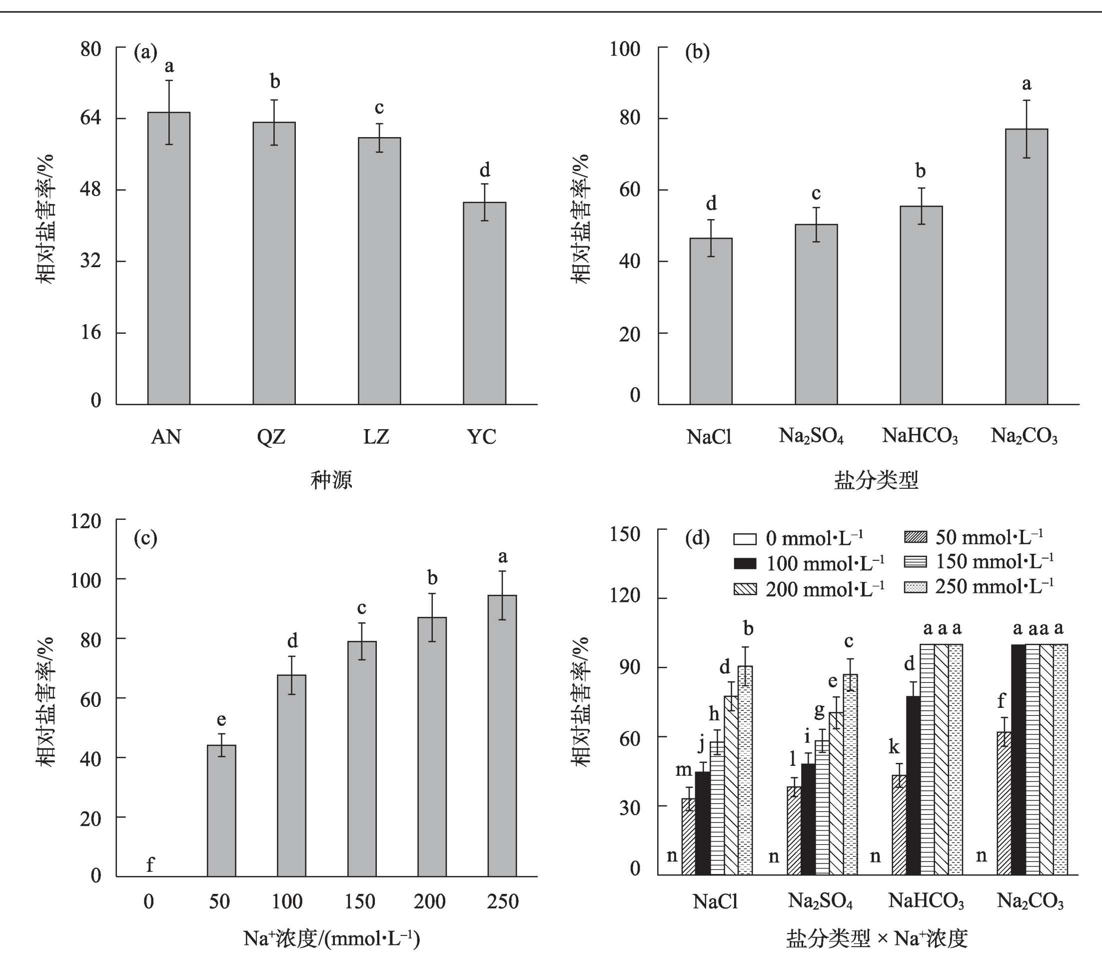


图5 种源、盐分类型、盐浓度和盐分类型×盐浓度对一年生早熟禾种子相对盐害率的影响

Fig. 5 Effects of provenance, salt type, concentration, and salt type × concentration on relative salt damage rate of *Poa annua* seeds

表3 不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性评价

Tab. 3 Evaluation of salt toxicity of different salt types during the germination period of *Poa annua* seeds

盐分	隶属函数值							D值	排名
	RGR	RGP	RGI	RVI	RBL	RRL	RSDR		
NaCl	0.96	1.00	0.84	0.99	1.00	1.00	0.00	0.80	1
Na_2SO_4	1.00	0.97	1.00	1.00	0.87	0.86	0.06	0.79	2
$NaHCO_3$	0.22	0.24	0.21	0.22	0.14	0.01	0.17	0.16	3
Na_2CO_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.11	4
权重	0.10	0.10	0.12	0.15	0.16	0.18	0.19		

糊隶属函数法对一年生早熟禾种子的相对萌发率、相对发芽势、相对萌发指数、相对活力指数、相对胚芽长、相对胚根长和相对盐害率指标响应不同盐分类型的盐害性进行综合评价，结果显示，不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性强弱依次为：Na_2CO_3 > $NaHCO_3$ > Na_2SO_4 > NaCl，与黄立华等[9]的研究结果一致。王志春等[31]研究认为，一般情况下碳酸盐和重碳酸盐对植物的危害大于氯化盐和硫酸盐，而氯化盐对植物的危害又大于硫酸盐，与本研究结果不一致，这可能与盐浓度、植物种类及交互作用等因素有关，还有待进一步研究。

4 结 论

4个野生一年生早熟禾种子萌发和幼苗生长在不同盐分类型和盐浓度下均受到不同程度的抑制。其中，永昌种源一年生早熟禾种子的萌发特性大于其他种源，碱性盐的毒害强于中性盐，相对于种子萌发期幼苗胚芽，胚根的响应更为敏感。不同盐分类型对一年生早熟禾种子萌发期的盐害性强

弱依次为：$Na_2CO_3 > NaHCO_3 > Na_2SO_4 > NaCl$。因此，在盐碱地采用草坪绿化及应用推广时应考虑盐碱地种类的差异。

参考文献（References）：

[1] 石玉林.《中国1∶100万土地资源图》土地资源数据集[M]. 北京：中国人民大学出版社，1991. [Shi Yulin. Land Resources Data Set of the 1∶1 Million Land Resources Map of China [M]. Beijing: China Renmin University Press, 1991.]

[2] Wang W, Vinocur B, Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance[J]. Planta, 2003, 218(1): 1–14.

[3] 樊自立，马英杰，马映军. 中国西部地区的盐渍土及其改良利用[J]. 干旱区研究，2001，18(3)：1–6. [Fan Zili, Ma Yingjie, Ma Yingjun. Salinized soils and their improvement and utilization in west China[J]. Arid Zone Research, 2001, 18(3): 1–6.]

[4] 周志红. 3种冷季型草坪草对盐胁迫的生理响应[J]. 草原与草坪，2014，34(2)：81–85. [Zhou Zhihong. Study on the physiological response of three cool-season turfgrass species to salt stress[J]. Grass and Turf, 2014, 34(2): 81–85.]

[5] 火旭堂，贾昊，曹兵. NaCl处理对4种牧草植物种子萌发的影响[J]. 草地学报，2019，27(4)：1096–1101. [Huo Xutang, Jia Hao, Cao Bing. Effects of NaCl treatment on seed germination of four herbage plants[J]. Acta Agrestia Sinica, 2019, 27(4): 1096–1101.]

[6] 李志萍，张文辉，崔豫川. NaCl和Na_2CO_3胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学报，2015，35(3)：742–751. [Li Zhiping, Zhang Wenhui, Cui Yuchuan. Effects of NaCl and Na_2CO_3 stresses on seed germination and seedling growth of Quercus variabilis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 742–751.]

[7] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京：科学出版社，1993. [Wang Zunqin. Saline Soil in China[M]. Beijing: Science Press, 1993.]

[8] 殷丽丽，陈晓亮，陈璐璐，等. NaCl、Na_2SO_4和Na_2CO_3对绿豆种子萌发的影响[J]. 作物杂志，2019，35(3)：192–196. [Yin Lili, Chen Xiaoliang, Chen Lulu, et al. Effects of NaCl, Na_2SO_4 and Na_2CO_3 stress on the seed germination of mung bean[J]. Crops, 2019, 35(3): 192–196.]

[9] 黄立华，梁正伟，马红媛. 不同盐分对羊草种子萌发和根芽生长的影响[J]. 农业环境科学学报，2008，28(5)：1974–1979. [Huang Lihua, Liang Zhengwei, Ma Hongyuan. Effects of different salts on seed germination and growth of *Leymus chinensis*[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 28(5): 1974–1979.]

[10] 雷春英，吉小敏，彭钼植，等 不同类型盐分对盐爪爪种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 干旱区研究，2021，38(5)：1436–1441. [Lei Chunying, Ji Xiaomin, Peng Muzhi, et al. Effects of sodium salinity stress types on the germination of *Kalidium foliatum* seeds and its young seedling growth[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5): 1436–1441.]

[11] 武路广，方志红，董宽虎. NaCl和Na_2SO_4胁迫对白羊草种子萌发的影响[J]. 山西农业科学，2011，39(10)：1115–1118. [Wu Luguang, Fang Zhihong, Dong Kuanhu. Effects of NaCl and Na_2SO_4 stress on seeds germination of Bothriochloa ischaemum[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2011, 39(10): 1115–1118.]

[12] 郭彦军. 重庆市区主要的草坪草种及其利用特点[J]. 草原与草坪，2002，22(2)：46–50. [Guo Yanjun. Main turfgrass species and their utilization characteristics in Chongqing urban area[J]. Grassland and Turf, 2002, 22(2): 46–50.]

[13] 李雪华，李晓兰，蒋德明，等. 干旱半干旱荒漠地区一年生植物研究综述[J]. 生态学杂志，2006，25(7)：851–856. [Li Xuehua, Li Xiaolan, Jiang Deming, et al. annual plant species in arid and semi-arid desert regions: A review[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(7): 851–856.]

[14] 张景光，张志山，王新平，等. 沙坡头人工固沙区一年生植物小画眉草繁殖分配研究[J]. 中国沙漠，2005，25(2)：60–64. [Zhang Jingguang, Zhang Zhishan, Wang Xinping, et al. Reproductive allocation of annual plant eragrostis poaeoides in planted area for sand *Fixation* in Shapotou region[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(2): 60–64.]

[15] 时嘉翊，曹岭，余舟昌，等. 不同地区野生芨芨草种子萌发期耐盐性综合评价[J]. 西北农业学报，2022，31(9)：1142–1153. [Shi Jiayi, Cao Ling, Yu Zhouchang, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance of wild achnatherum splendens seeds from different areas during germination period[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2022, 31(9): 1142–1153.]

[16] 白小明，王靖婷，贺佳圆，等. 8个野生早熟禾种子萌发期耐盐性研究[J]. 草地学报，2013，21(3)：546–555. [Bai Xiaoming, Wang Jingting, He Jiayuan, et al. Salt resistance of eight wild *Poa* L. varieties during seed germination stages[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(3): 546–555.]

[17] 李娟霞，白小明，张翠，等. 7个野生一年生早熟禾种质萌发期耐盐性综合评价[J]. 草地学报，2022，30(11)：2937–2948. [Li Juanxia, Bai Xiaoming, Zhang Cui, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance of seven wild *Poa annua* at seed germination stage[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(11): 2937–2948.

[18] 陈新，张宗文，吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选[J]. 中国农业科学，2014，47(10)：2038–2046. [Chen Xin, Zhang Zongwen, Wu Bin. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of naked oat (*Avenanuda* L.) at germination stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(10): 2038–2046.]

[19] Orlovsky N, Japakova U, Zhang H. Effect of salinity on seed germination, growth and ion content in dimorphic seeds of *Salicornia europaea* L. (Chenopodiaceae)[J]. Plant Diversity, 2016, 38(4): 183–189.

[20] 田宏，张鹤山，熊军波，等. 不同收获期扁穗雀麦的种子特性[J]. 草业科学，2019，36(8)：2105–2111. [Tian Hong, Zhang Heshan, Xiong Junbo, et al. Seed characteristics of Bromus catharticus at different harvest times[J]. Pratacultural Science, 2019, 36(8): 2105–2111.]

[21] 柴胜丰，蒋运生，韦霄，等. 濒危植物合柱金莲木种子萌发特性[J]. 生态学杂志，2010，29(2)：233–237. [Chai Shengfeng, Jiang

Yunsheng, Wei Xiao, et al. Seed germination characteristics of endangered plant *Sinia rhodoleuca*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(2): 233–237.]

[22] 张莹莹. 青藏高原东缘89种禾本科植物种子萌发特性与生活史的关联[D]. 兰州: 兰州大学, 2011. [Zhang Yingying. Germination Characteristics of 89 Poaceae Species from the Eastern Qinghai-Tibet Plateau of China and Their Life History Correlate[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.]

[23] Song J, Feng G, Tian C Y, et al. Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon* persicum to a saline environment during seed-germination stage[J]. Annals of Botany, 2005, 96(3): 399–405.

[24] Pinheiro H A, Silvaj V, Endress L, et al. Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions[J]. Industrial Crops and Products, 2008, 27(3): 385–392.

[25] 夏循海, 何勇, 田志宏. NaCl与Na_2CO_3对高羊茅生理胁迫的差异分析[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(9): 36–38. [Xia Xunhai, He Yong, Tian Zhihong. The physiological difference analysis of NaCl and Na_2CO_3 stressed on tall fescue (*Festuca arundinacea* L.)[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, 19(9): 36–38.]

[26] 张秀玲, 李瑞利, 石福臣. 盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2007, 40(4): 13–18. [Zhang Xiuling, Li Ruili, Shi Fuchen. Effects of salt stress on the seed germination of *Apocynum venetum*[J]. Acta Scientiarum Natruralium Universitatis Nankaiensis, 2007, 40(4): 13–18.]

[27] 徐曼. 盐碱胁迫对长穗偃麦草种子萌发、生长及生理特性的影响[D]. 长春: 东北师范大学, 2020. [Xu Man. Effects of Saline-alkali Stresses on Seed Germination, Growth and Physiological Traits of *Elytrigia elongate* L. [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2020.]

[28] 王伟华, 姜黎. 四种钠盐胁迫对野榆钱菠菜种子萌发特性和幼苗生长的影响[J]. 中国草地学报, 2020, 42(6): 23–29. [Wang Weihua, Jiang Li. Effects of sodium stress on seed germination and seedling growth of *Atriplex aucheri*[J]. Chinese Journal of Grassland, 2020, 42(6): 23–29.]

[29] Croser C, Renault S, Frankin J, et al. The effect of salinity on the emergence and seedling growth of *Picea mariana*, *Picea glauca*, and *Pinus banksiana*[J]. Environmental Pollution, 2001, 115(1): 9–16.

[30] 刘杰, 张建坤, 张学政. NaCl胁迫下虎尾草种子萌发特性的研究[J]. 北方园艺, 2013, 37(21): 92–94. [Liu Jie, Zhang Jiankun, Zhang Xuezheng. Study on the germination properties of seeds of Chloris virgate under NaCl stress[J]. Northern Horticulture, 2013, 37(21): 92–94.]

[31] 王志春, 梁正伟. 植物耐盐研究概况与展望[J]. 生态环境学报, 2003, 12(1): 106–109. [Wang Zhichun, Liang Zhengwei. Advances of salt tolerance in plants[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2003, 12(1): 106–109.]

Effects of different salt types on seed germination and seedling growth of *Poa annua*

LI Juanxia[1], BAI Xiaoming[1], ZHANG Cui[2], RAN Fu[1], LI Ping[1], YAN Yubang[1], ZHANG Caizhong[1], ZHU Yanan[1], CHEN Hui[1]

(1. Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, The Sino-U. S Joint Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability; 2. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: The effects of different salt types and concentrations on the germination characteristics of *Poa annua* seeds were studied using the Petri dish method in this study. The relative germination rate, potential, index, vigor, bud length, radicle length, and salt damage rate were measured, analyzing the responses of *P. annua* seed germination and seedling growth to different salt types. The results indicated that: (1) *P. annua* from Yongchang had superior germination and seedling growth characteristics compared with the other provenances. (2) various salt types and concentrations significantly inhibited seed germination and seedling growth, with alkaline salts exhibiting stronger toxicity compared with neutral salts, and radicles being more sensitive than buds during germination; and (3) the salt toxicity of different salt types during *P. annua* seed germination ranked as follows: Na_2CO_3>$NaHCO_3$>Na_2SO_4>NaCl. Therefore, this study provides a scientific basis for planting *P. annua* for ecological restoration of different types of saline lands.

Keywords: *Poa annua*; salt type; germination characteristics; seedling growth; salt tolerance